

## 2. Hybrydowa elektrociepłownia na biomasę dla krajów europejskich

### Koncepcja hybrydowej elektrowni zasilanej biomasą przy współpracy Polski i Niemiec.

#### STRESZCZENIE

*Artykuł opisuje koncepcję elektrociepłowni zasilanej biomasą, która może zostać wykorzystana w krajach Unii Europejskiej w celu sprostania nowym przepisom oraz w celu ochrony środowiska. Projekt obejmuje wykorzystanie dodatkowo energii słoneczną oraz wiatrową, jako komplementarne źródła energii odnawialnej w celu zmniejszenia zasobów biomasy niezbędnych do produkcji energii elektrycznej. Przeprowadzone zostały badania dla przykładowej jednostki zasilanej słomą, która będzie zlokalizowana w miejscowości Daszyna, w centralnej Polsce.*

#### 2.1. WPROWADZENIE

Zobowiązanie do wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych wynika z umów międzynarodowych, przepisów UE, jak również z dokumentów krajowych. Na szczeblu lokalnym powodem inwestowania w odnawialne źródła energii jest także zapewnienie niezależności energetycznej. To zobowiązanie spoczywa na lokalnych władzach, których zadaniem jest rozwijanie i wdrażanie działań w celu zapewnienia ogrzewania, elektryczności oraz zaopatrzenia w paliwa gazowe. Rozwiązanie tego problemu nie jest łatwe. Należy poszukiwać innowacyjnych rozwiązań, które uwzględniają możliwości lokalnego rynku energii w odniesieniu do ustanowionych celów.

Opierając się na współpracy z lokalnym samorządem (miejscowości Daszyna), przemysłem (Pro-Akademia, Seeger Engineering AG) oraz nauką (doktoranci z Uniwersytetu Łódzkiego, Politechniki Łódzkiej, Centrum Naukowego Wschód-Zachód oraz Uniwersytetu w Kassel i DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum), stworzono wstępną koncepcję modelowego rozwiązania. Obejmuje ona innowacyjną technologię, organizację i logistykę jak również model współpracy międzynarodowej, która ma na celu ochronę środowiska w obszarze Europy centralnej i wschodniej.

Przedmiotem projektu jest zbudowanie i uruchomienie lokalnej elektrociepłowni na biomasę, słońce oraz wiatr o wydajności 2 MW energii cieplnej. Ten projekt jako innowacyjny projekt pilotażowy będzie zlokalizowany w centralnej Polsce, w miejscowości Daszyna. Paliwem biomasy będzie głównie słoma.

Projekt ma charakter pilotażowy, którego celem jest pełnienie wzorca dla lokalnych samorządów w UE oraz krajów kandydujących. Będzie on służył jako dobra praktyka, która będzie transferowana do innych inwestorów. Będzie zawierał podpowiedzi natury organizacyjnej i logistycznej jak przełamywać bariery administracyjne, współpracować z instytutami badawczymi oraz przemysłem, a także wykorzystywać niemiecką technologię. Powielanie prezentowanych rozwiązań zwielaokrotni środowiskowe i ekonomiczne korzyści. Uwzględniając fakt, że obowiązkiem samorządów jest zaspakajanie potrzeb energetycznych, lokalne elektrownie na biomasę mogą przyczynić się do wzrostu niezależności energetycznej.

### **WŁAŚCIWOŚCI SŁOMY JAKO PALIWA**

Ocena słomy dla celów energetycznych obejmuje:

- wartość kaloryczną,
- wilgotność,
- stopień zmiążdżenia.

Najważniejszym parametrem paliwa jest wartość grzewcza, która jest zdefiniowana jako wartość ciepła wyprodukowana podczas spalania jednostki paliwa stałego w atmosferze tlenowej ograniczonej ciepłem parującej wody (uzyskana w procesie spalania przy higroskopijnej wilgoci). Niska wartość grzewcza słomy zawiera się w granicach od 14 do 17 MJ/kg oraz zależy głównie od gatunku rośliny. Porównując te parametry z wartością kaloryczną węgla, która wynosi w granicach od 18.8 do 30MJ/kg, można wywnioskować, że 1.5 tony słomy jest ekwiwalem 1 tony węgla (o średniej energetyczności). Wartość energetyczna słomy zależy głównie od zawartości wody. Wilgotność świeżej słomy wynosi 12-22%, głównie uzależniona jest od rodzaju zbioru oraz warunków pogodowych podczas żniw. Zwiększona wilgotność pogarsza warunki spalania w kotle, co więcej przyczynia się do zwiększenia emisji wydzielanych gazów i ogranicza efektywność procesu spalania. W nawiązaniu do powyższego, polskie rolnictwo wytwarza około 26 milionów ton słomy rocznie, z których około 16 milionów jest wykorzystywanych do celów rolniczych tj.: plewy i słoma oraz inne resztki są używane jako dodatki do pasz zwierzęcych, użyźniają glebę i są wykorzystywane jako ściółka. Pozostała część nie jest wykorzystywana.

Słoma do celów grzewczych jest zbierana i prasowana w bele, jak również cięta. Ostatnio coraz częściej jest wykorzystywana dla tego celu w formie przetworzonej, połączonej lub brykietów.

Istnieją trzy systemy spalania słomy:

- Okresowy – regularne spalanie słomy we wsadach kotłów (kotły o niskiej mocy).
- Spalanie pociętej słomy na kawałki o długości 5-10 cm (wysokiej mocy kotły, od jednego do kilkunastu / kilkudziesięciu MW).
- Spalanie słomy w kotłach o systemie cygarowym (od kilku do kilkunastu / kilkudziesięciu MW).

Szacuje się, że koszt niewielkiego kotła opalanego słomą porównując do węglowego jest mniejszy o połowę. Przy większych kotłach ten wskaźnik jest nawet bardziej korzystny z uwagi na ograniczenie kosztów transportu. Oczywiście koszt spalania słomy jest jeszcze niższy, jeśli słoma pochodzi z własnego gospodarstwa rolnego. Wartość kaloryczna słomy zależy od zawartości wilgoci, rodzaju zboża oraz od warunków nawożenia i zbiorów (słoma żółta i szara). Zbyt duża ilość wilgoci ogranicza wartość energetyczną

i przyczynia się do zwiększenia emisji. Optymalna zawartość wilgoci powinna zawierać się w przedziale od około 15% do maksimum 18-22%.

Wykorzystanie słomy jako paliwa ma swoje zalety i wady.

Zalety:

- niski koszt wytworzenia energii,
- bilans węglowy bliski zera, ponieważ spalanie słomy nie powoduje wytworzenia większej ilości dwutlenku węgla niż pochłaniania z atmosfery podczas swojego wzrostu;
- niższa emisja siarki i tlenku azotu,
- nie za duża zawartość pyłu, który zawiera spore ilości tlenku wapnia, potasu i fosforu, a także może być z sukcesem wykorzystany jako nawóz,
- umożliwia długie składowanie w suchym miejscu.

Wady:

- niska zbitość oraz wysoka zawartość elementów ulotnych (która jest niekorzystna przy transporcie oraz stwarza pewne problemy w procesie spalania),
- resztki słomy zawierają produkty ochrony roślin,
- niska temperatura topnienia popiołu – powoduje istotne uszkodzenia powierzchni grzewczej paleniska oraz jego zapiekanie,
- zawiera chlor i potas – zwiększa korozję metalowych części paleniska,
- duża powierzchnia składowania umożliwiająca utrzymywanie wilgotności słomy w granicach 10-20%.

Słoma jest bardzo ekologicznym paliwem, kosztuje niewiele i jest korzystna dla środowiska naturalnego, a także z roku na rok wzrasta zapotrzebowanie na jej produkcję. Na rynku coraz więcej przedsiębiorstw oferuje różnego rodzaju kotły, które stają się coraz bardziej zaawansowane, przez to poprawia się ich wydajność oraz łatwość obsługi. Świeża słoma składa się z wielu metali alkalicznych oraz chloru, które umacniają proces trawienia i formowania się żużlu.

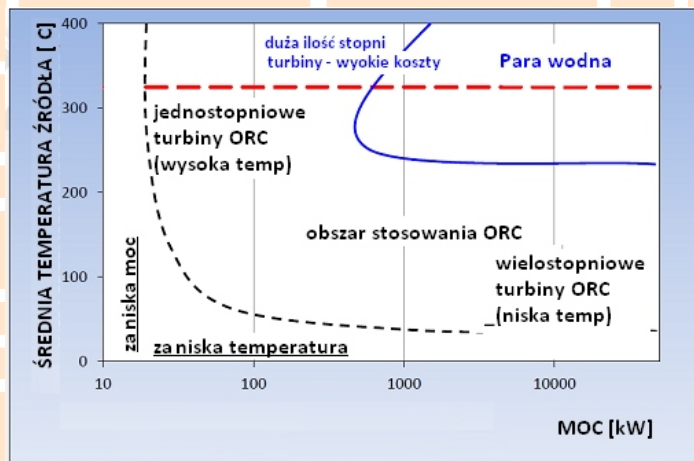
Dlatego też zaleca się, aby słoma, która jest przygotowywana do celów energetycznych podlegała procesowi wędnięcia. Ten proces powoduje wymywanie się szkodliwych substancji przez ich wytrącanie. Stopień wędnięcia świadczy o tym jak długo słoma leżała na polu oraz jak długo była wyeksponowana na zmienne warunki pogodowe, a także kiedy została ścięta. Cechą charakterystyczną słomy jest jej szary kolor, w porównaniu do świeżej słomy, która ma kolor żółty.

### **ELEKTROWNIA OPALANA SŁOMĄ - OBIEG ORC**

Koncepcja budowy elektrowni opartej na odnawialnych źródłach energii jest odpowiedzią na oczekiwania rynkowe w zakresie tego rodzaju produktu, który dzięki swojej prostej budowie zapewni stabilność energetyczną dla samorządów. Rozwiązania stosowane w projekcie są nowoczesne, lecz sprawdzone, więc projekt budowy elektrowni jest wiarygodny i rzetelny.

Po dokładnej analizie dostępności zasobów paliwa z kategorii odnawialnych źródeł energii, w Polsce, ale także i w Europie stwierdzono, że słoma nie jest materiałem powszechnie wykorzystywanym do celów energetycznych. Dlatego więc zaproponowano, aby elektrownia była opalana słomą jako głównym paliwem, przy dodatkowym wsparciu energii słonecznej. Oznacza to, że będzie projektowany obiekt będzie stanowił obieg hybrydowy. Publikacje o małych obiegach opartych na OZE pokazują, że wykorzystanie rozwiązań hybrydowych może być korzystne. Główną zaletą ze stosowania obiegu hybrydowego jest wyższa wydajność termodynamiczna oraz lepszy wskaźnik wygenerowanej elektryczności w stosunku do ceny całkowitej. Główną wadą takich rozwiązań jest dalsze skomplikowanie i tak bardzo skomplikowanych systemów automatyki, szczególnie kiedy jedno ze źródeł nie jest zbyt stabilne, jak to jest w przypadku energii słonecznej.

Niniejszy opis dotyczy elektrociepłowni zasilanej słomą jako głównym źródłem energii, przy wsparciu ciepła pochodzącego z energii słonecznej jako dodatkowego źródła. W celu zwiększenia wytwarzania bardzo istotnego produktu jakim jest prąd elektryczny, cały system jest podłączony do farmy wiatrowej. Schematyczny opis elektrowni przedstawia rysunek 1.



Wykres 1. Obszary zastosowania klasycznego cyklu parowego ORC zgodnie z wytwarzaną energią elektryczną oraz temperaturą źródła ciepła.

Źródło: Gaia M.: 30 lat rozwoju organicznego cyklu Rankina, Pierwsze Międzynarodowe Seminarium nt. systemów ORC, ORC 2011, 22-23 września 2011, TU Delft.

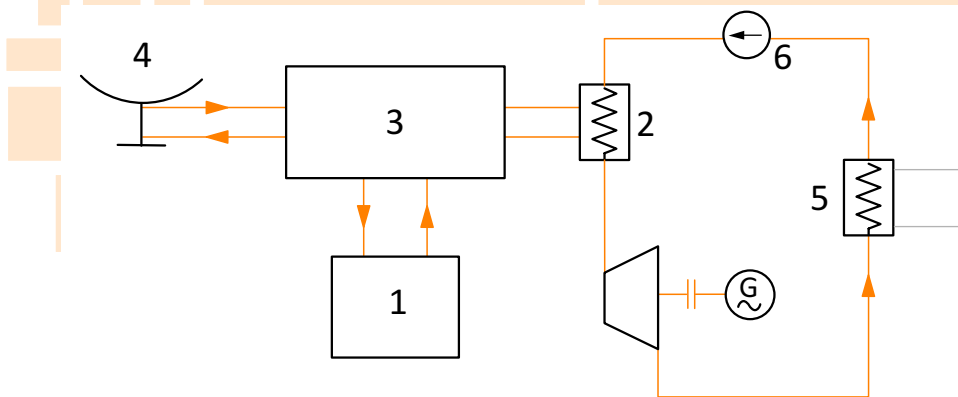
Z powodu niskiej temperatury spalania paliwa ze słomy jest bardzo ważne, aby wybrać odpowiedni obieg do produkcji energii.

Wybór rodzaju obiegu jest uzależniony głównie od rodzaju i ilości dostępnego ciepła. Ponieważ pierwotne źródło energii do ogrzewania będzie pochodzić ze spalania słomy, decydującym czynnikiem dla wyboru obiegu jest kocioł. Początkowo rozważano wykorzystanie kotła parowego, który pozwalałaby

na zastosowanie klasycznego cyklu Rankine. Niestety szacuje się, że energia cieplna pochodząca z biomasy oscyluje w granicach od 2 do 2.5 MW, a dla takich wartości jest bardzo trudno znaleźć kotły parowe.

Klasyczne obwody parowe mogą także powodować problemy z turbiną z uwagi na niskie parametry pary wodnej (temperatura, ciśnienie). Turbiny dla niskich parametrów (turbiny kondensacyjne) charakteryzują się wieloma stopniami, dużymi średnicami wirników, które w rezultacie skutkują wyższym kosztem wytworzenia. Co więcej, rozprężenie pary wodnej kończy się w obszarze pary mokrej, co przyczynia się do ryzyka korozji łopatek turbiny.

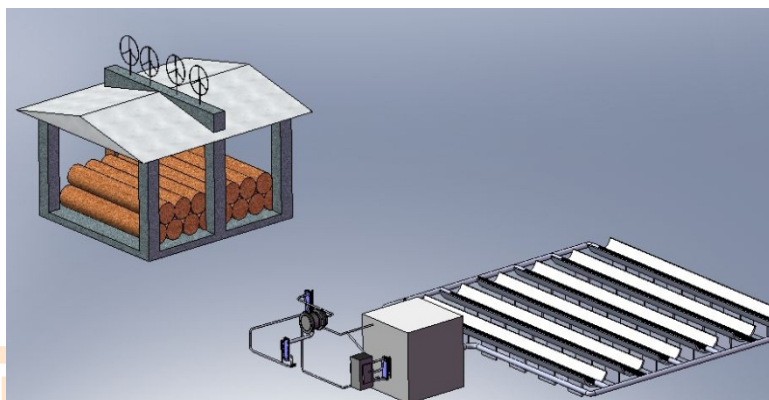
Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest zastosowanie obiegu na czynnik niskowrzący Organic Rankine Cycle (ORC). Jest to rodzaj obiegu parowego, który wykorzystuje organiczny czynnik, posiadający istotnie różne właściwości w odróżnieniu od np. pary wodnej. Jego główną zaletą jest niski punkt wrzenia, który znacząco zwiększa ciśnienie w obiegu. Dodatkowo, czynniki te (z uwagi na duży rozmiar ich molekuł) charakteryzują się dużą gęstością, która obniża rozmiar turbiny. Rysunek 1 przedstawia obszary zastosowania klasycznych obiegu parowych oraz zamkniętych obiegu parowych, a także obiegu ORC, w zależności od ilości wygenerowanej energii elektrycznej oraz temperatury źródła. W projektowanej elektrowni zasilanej słomą ciepło będzie dostarczane do obiegu poprzez olej podgrzany przez kocioł (lub zespół kotłów). Wybór oleju jako płynu pośredniego jest uzasadnione tym, że wykorzystanie wody powoduje zbyt wysokie ciśnienie. Gorący olej będzie przynosił ciepło do obiegu płynu o niskiej temperaturze wrzenia przez wymiennik ciepła (parownik).



Rysunek 1. Schemat siłowni opartej o ORC.

Źródło: opracowanie własne.

Sposób produkcji energii elektrycznej oraz ciepła jest podobny do systemów stosowanych w konwencjonalnych elektrowniach. Tak jak zostało napisane, głównym źródłem ciepła jest kocioł na biomasę (1). Proces obróbki słomy jest bardzo prosty i składa się jedynie z jej rozdrobnienia. Tak przygotowana biomasa jest transportowana taśmociągami w kierunku kotła. W międzyczasie możliwe jest dodanie dodatków w różnych formach tj. trociny lub nawet naturalne, biodegradowalne suche śmieci.



Rysunek 2. Wizualizacja elektrowni.

Źródło: projekt własny.

Wszystkie dodatki muszą zostać rozdrobnione do tego samego rozmiaru co pozostałe rodzaje paliwa. Takie postępowanie poprawia proces spalania. Jest oczywiste, że przed spaleniem śmieci muszą zostać posegregowane (oddzielnie materiały do recyklingu, niepalne, toksyczne). Przygotowane paliwo jest wkładane do kotła przy użyciu strumienia powietrza, które wtłacza mieszkankę biomasy. Kocioł jest konwerterem energii chemicznej paliwa jakim jest biomasa na energię cieplną. Gorący płyn pośredni, którym jest olej (Rysunek 2 czerwony) przekazuje swoją energię przez wymiennik ciepła – parownik (2) płynowi niskowrzącemu w wyniku czego następuje jego przemiana fazowa płyn – gaz (Rysunek 2 kolor niebieski). Opary płynu o niskiej temperaturze wrzenia, które posiadają specyficzne parametry są kierowane do turbo generator. W rezultacie turbo generator zaczyna się poruszać i wytwarzać energię elektryczną. System kotłów jest połączony z obiegiem słonecznym (4). Punktem wspólnym dla obu systemów jest akumulator ciepła (3). Jego głównym zadaniem jest równoważenie ciepła generowanego przez kocioł oraz ciepła z systemu solarnego. Kolejnym krokiem jest skraplanie niskowrzącego płynu chłodzącego w skraplaczu (5). Niskowrzący płyn jest prowadzony (Rysunek 2 na niebiesko) przez pompę (6) do parownika (2) gdzie system się zamyka.

### **PANELE SŁONECZNE I TURBINY WIATROWE**

Spalanie biomasy we wspomnianej elektrowni zapewnia na początku zerowe saldo węglowe. Zakłada się, że spalona biomasa wytwarza tyle samo  $\text{CO}_2$  ile sama zaabsorbowała z atmosfery podczas swojego wzrostu. Rośliny w procesie fotosyntezy absorbują taką samą ilość dwutlenku węgla, który wydzielił się w procesie spalania. Jest to szczególną zaletą w porównaniu z tradycyjnymi paliwami takimi jak węgiel, gaz ziemny czy ropa, gdyż nie podwyższa całkowitej ilości  $\text{CO}_2$  w atmosferze. Klasyczne paliwa wytwarzają dwutlenek węgla, który natura składa się pod ziemią przez miliony lat, podczas gdy w trakcie spalania biomasy możemy mówić o odpowiednim wykorzystaniu „odpadów” (dla przykładu słoma pozostawiona na polu wytworzy porównywalną ilość  $\text{CO}_2$  w procesie rozkładu, ale bez żadnej korzyści energetycznej).

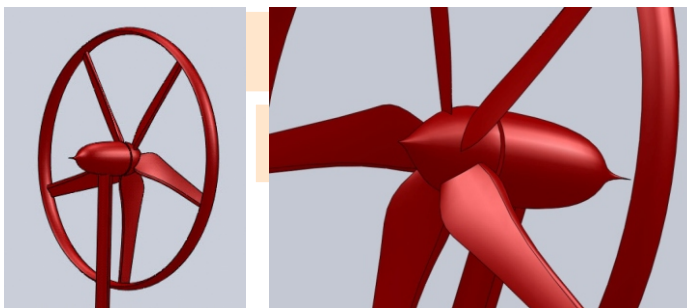
W celu minimalizacji emisji CO<sub>2</sub> elektrownia będzie posiadała elementy odnawialnych źródeł energii, takie jak turbiny wiatrowe i panele słoneczne. Te instalacje przyczynią się do zwiększenia wytwarzanej energii zapewniając odbiorcom większą niezależność od źródeł zasilania oraz w sposób naturalny obniżą CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, a także innych zanieczyszczeń wynikających z wytwarzania energii elektrycznej metodami tradycyjnymi.

Celem stosowania tych dodatków jest współdziałanie w procesie funkcjonowania elektrociepłowni i oczywiste zmniejszenie ilości biomasy niezbędnej do spalania. W porównaniu do wyłącznie zasilanych energią elektryczną elektrowni, udział paneli słonecznych oraz turbin wiatrowych w zasilaniu będzie znikomy (Tabela 1.), jednak przy rocznych obliczeniach przyczyni się do widocznych oszczędności.

Elektrownia będzie wykorzystywać wiatraki o niskiej mocy, do 1 kW. Jest to związane z promocją tego rodzaju rozwiązań jako źródła energii w zdecentralizowanej sieci energetycznej. Zaletą wykorzystania małych turbin jest przede wszystkim ich cena, prostota oraz niezawodność. Wymagają znacznie mniej uwagi niż duże turbiny, a połączenie kilku z nich ewidentnie zwiększają ich moc całkowitą. Oczywiście duże urządzenie charakteryzuje się większą wydajnością oraz wyższym poziomem technologicznym, jednak ustępuje małym wiatrakom pod względem ceny i prostoty.

Istotną cechą wiatraka jest stosowanie zewnętrznej obręczy. Ten element eliminuje turbulencje wytwarzane przez końce łopatek, które dodatkowo wpływają na zwiększony hałas. Projekt całego korpusu i kształtu łopatek będzie skoncentrowany na ograniczeniu turbulencji, a przez to maksymalnej redukcji hałasu wynikającego z pędu powietrza. Optymalizacja jego budowy przyczyni się więc do lepszej wydajności, ponieważ turbulencje powodują duże straty przy konwersji energii.

Unikalną cechą turbiny będzie umiejscowienie masztu bezpośrednio przed łopatkami w stosunku do kierunku wiatru. Pozwoli to uniknąć montażu ogona oraz mechanizmu kierunkowego. Automatycznie ustawi to wiatrak dzięki oporowi łopatek. W celu uniknięcia zakłóceń ruchu, kształt korpusu będzie precyzyjnie dostosowany, a maszt zostanie pokryty powłoką aerodynamiczną w celu ograniczenia oporu. Projekt zakłada ograniczenie powierzchni zajmowanej przez turbinę, lepszą estetykę oraz uproszczenie struktury, a co za tym idzie zmniejszenie końcowej ceny produktu.



Rysunek 3. Projekt turbiny wiatrowej zaprojektowanej dla elektrowni.

Źródło: projekt własny.

Projektowany rozmiar wirnika będzie wynosił 2 metry. Oznacza to, że przy wietrze o prędkości 11 m/s turbina osiągnie teoretyczną moc około 1.12 kW. Po odjęciu strat mechanicznych w skrzyni biegów,

generatorze i innych strat, moc powinna być nieco poniżej 1 kW. Warto zwrócić uwagę, że zależność mocy od prędkości nie jest funkcją liniową, ale raczej kwadratową. W momencie większego zapotrzebowania na elektryczność, elektrownia może być wyposażona w jedną lub dwie dodatkowe turbiny bez większych problemów, bez konieczności przebudowy systemu elektrycznego.

Kolektory, które mogą pracować w wysokich ciśnieniach i temperaturach są to paraboliczno - cylindryczne kolektory słoneczne. Takie rozwiązania nie są powszechnie stosowane w Polsce z powodu niewielkiej ilości światła słonecznego. Jednakże możliwe jest wykorzystanie tego rodzaju kolektorów o nieco niższej wydajności. Elektrownia będzie wykorzystywać zdecentralizowany system solarny SEGS (solar energy generating system), z uwagi na brak potrzeby budowy wieży oraz możliwość pracy przy temperaturach rzędu 400°C.

Kolektory paraboliczno - cylindryczne są połączone w segmenty, a liczba połączonych kolektorów decyduje o końcowej temperaturze płynu, ponieważ każdy z obiektów rozgrzeje o pewną stałą wartość  $\Delta T$ . Jest wiadomym, że w początkowej części temperatura bardziej wzrasta niż w na końcu serii kolektorów. Stąd potrzeba budowy całkiem długich ich serii, o długości około 156 m. Energia termalna, którą kolektory odzyskują w ciągu roku nie powinna być niższa niż 360 MWh. Systemy solarne zostaną skonstruowane w taki sposób, aby bez potrzeby unieruchamiania całego systemu można było go rozbudować o kolejne serie obwodów połączonych równolegle w stosunku do tych pierwotnych.

Głównym źródłem ogrzewania dla kotła elektrociepłowni jest słoma. Jego samodzielna moc nie jest wystarczająca do dostarczenia odpowiedniej ilości ciepła do turbiny, aby zapewnić jej funkcjonowanie przy nominalnych parametrach projektowych. Ciepło z systemu solarnego jest dodatkowym źródłem. Zarówno kocioł jak i obwody solarne będą pracować na wspólnym elemencie - akumulatorze ciepła. Ten dobrze zaizolowany cieplnie element będzie służył jako bufor w celu zapewnienia stabilnej pracy turbiny. Umożliwi bezproblemowe funkcjonowanie kotła w warunkach wysokiego i niskiego nasłonecznienia. Dodatkową funkcją jest akumulowanie ciepła w taki sposób, że energia zgromadzona w ciągu dnia o dużym promieniowaniu słonecznym, może zostać wykorzystana w ciągu nocy do produkcji energii elektrycznej.

## **2.2. ANALIZA ZYSKOWNOŚCI DLA LOKALNEJ ELEKTROCIEPŁOWNI HYBRYDOWEJ**

### **2.2.1. OCENA INWESTYCJI W PODSYSTEM PRODUKCYJNY**

Analiza ekonomiczna dla hybrydowej elektrociepłowni była przygotowana zgodnie z procedurą UNIDO rekomendowaną przez Bank Międzynarodowy. Ta procedura zawiera kilka wskaźników ekonomicznych:

#### **2.2.1.1. OKRES ZWROTU PBP**

Wskaźnik prostego okresu zwrotu (SPBP) jest obliczany w niniejszym dokumencie. SPBP przedstawia czas potrzebny do zwrotu wydatków inwestycyjnych podczas planowanego czasu trwania inwestycji.

$$I \sum_{t=0}^{SPBP} CF_t,$$



gdzie: I – wszystkie wydatki inwestycyjne; SPBP – prosty okres zwrotu;  $CF_t$  – przepływ pieniężny w okresie t; „0” – rok pierwszego wydatku.

### 2.2.1.2. Wskaźnik zwrotu na kapitale (ROE) i wskaźnik zwrotu na inwestycji (ROI)

W tym dokumencie wskaźnik ROI jest liczony ze wzoru:

$$ROI = \frac{F - Y}{I},$$

gdzie: F – zysk netto w średnim/typowym roku; Y – średnia roczna stopa procentowa w średnim/typowym roku; I – całkowite wydatki inwestycyjne.

### 2.2.1.3. WARTOŚĆ BIEŻĄCA NETTO (NPV)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(CI_t - CO_t)}{(1 + p)^t},$$

gdzie:  $CI_t$  – przychody w roku t;  $CO_t$  – wydatki w roku t; p – współczynnik dyskontowy; „0” – rok pierwszego wydatku.

### 2.2.1.4. WEWNĘTRZNA STOPA ZWROTU (IRR)

$$\sum_{t=0}^n \frac{(CI_t - CO_t)}{(1 + IRR)^t} = 0,$$

gdzie:  $CI_t$  – przychody w roku t;  $CO_t$  – wydatki w roku t; I – całkowite wydatki inwestycyjne; „0” – rok pierwszego wydatku.

### 2.2.1.5. GRANICA OPŁACALNOŚCI (BEP)

$$BEP_E = \frac{k_E}{e_E},$$

gdzie:  $k_E$  – średni koszt jednostkowy wytworzenia energii;  $e_E$  – średnia cena jednostkowa sprzedaży energii.

## 2.2.2. DANE I ZAŁOŻENIA TECHNICZNE DLA PROJEKTOWANEJ LOKALNEJ ELEKTROCIĘPŁOWNI

Projektowana elektrociepłownia na biomasę będzie posiadać 2 MW mocy (cieplnej i elektrycznej) będzie funkcjonować w oparciu o organiczny cykl Rankine (ORC). Elektrociepłownia będzie potrzebować 5000 ton biomasy (słoma) rocznie dla działania przy swojej nominalnej mocy (założono niższą wartość kaloryczną słomy -14 000 MJ/t). Zasilanie w energię systemu elektrociepłowni oraz urządzeń towarzyszących będzie wspierane przez energię wiatrową pochodzącą z małych wiatraków (1kW i 3kW). Inne założenia:

- 80% wydajność systemu produkcji ciepłej w elektrowni (prawdziwa wartość - 1,6 MW włączając 420 kW<sub>el</sub>);
- system produkcji ciepła w ciągu roku będzie funkcjonował o nominalnej mocy cieplnej. Przez 7 “zimnych” miesięcy cała wytwarzana energia będzie sprzedawana, w pozostały czas w roku (5 “ciepłych” miesięcy) jedynie 25% wytworzonej energii będzie sprzedawane;

- system produkcji energii będzie funkcjonował na poziomie 90% mocy nominalnej (420 kW) w ciągu roku, a cała wytworzona energia będzie sprzedawana;
- zapotrzebowanie własne na energię elektryczną elektrociepłowni 20kW;
- zainstalowanych zostanie piętnaście 1kW turbin wiatrowych oraz trzy 3kW turbiny wiatrowe dające 168 kWh energii dziennie, zasilając systemy elektrociepłowni oraz urządzeń współpracujących;
- elektrociepłownia będzie zamykana na okres jednego tygodnia w ciągu roku w celu napraw i konserwacji.

Techniczne dane dotyczące wielkości wytworzonej energii oraz energii przeznaczonej do sprzedaży są zawarte w tabeli 1.

Tabela 1. Wielkość wytworzonej energii oraz energii przeznaczonej do sprzedaży dla zaproponowanej elektrociepłowni.

Nominalna moc elektrociepłowni	2 MW (włączając 420 kWel.)
Całkowita roczna produkcja energii elektrycznej (uwzględniając jeden tydzień przerwy)	3301.2 MWh
- z biomasy	3241.1 MWh
- z 18 wiatraków o całkowitej mocy 24 kW	60.1 MWh
Całkowita roczna produkcja energii cieplnej do sprzedaży (uwzględniając jeden tydzień przerwy)	7107.3 MWh (25 586.4 GJ)
Konsumpcja własna energii elektrycznej elektrociepłowni	175.7 MWh
Konsumpcja własna energii cieplnej elektrociepłowni	Znikoma
Całkowita roczna produkcja energii elektrycznej przeznaczonej do sprzedaży (całkowita produkcja energii elektrycznej - własna konsumpcja)	3125.5 MWh

Źródło: Opracowanie własne autora.

### **2.2.3. PROPONOWANA STRUKTURA FINANSOWANIA KOSZTÓW INWESTYCYJNYCH ORAZ RODZAJ SYSTEMU PRAWNEGO ELEKTROCIĘPŁOWNI**

Proponowana struktura pozyskania kapitału inwestycyjnego dla samorządu:

1. 70% - dotacja z funduszy UE (na przykład z Programu Infrastruktury i Działalności Środowiskowej lub Mechanizm Finansowania EEA i Norweski Mechanizm Finansowania);
2. 25% - dotacja Rządowa (w Polsce dla przykładu Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej),
3. 5% - niskooprocentowana pożyczka (około 3% rocznie) od funduszy wojewódzkich (w Polsce dla przykładu z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej). Ten rodzaj niskooprocentowanej pożyczki może być umorzony do 40% wartości początkowej, jeśli zostaną spełnione pewne warunki.

Założono, że elektrociepłownia zostanie utworzona jako instytucja samorządowa. To będzie skutkowało tym, że elektrociepłownia zostanie zwolniona z podatku dochodowego. Założono także, że projektowana elektrociepłownia będzie realizować podstawowe cele samorządu (oznacza to, że elektrownia będzie dostarczać ciepło i energię do budynków publicznych i gospodarstw domowych). Prawdopodobnie elektrownia hybrydowa nie będzie płacić podatku VAT zgodnie z polskimi przepisami. Jednakże to założenie może być nieprawdziwe. Ten problem zostanie omówiony oraz uwzględniony w podsumowaniu tego artykułu.

## 2.2.4. KOSZTY INWESTYCJI

Koszty inwestycyjne projektowanej lokalnej elektrociepłowni o mocy 2MW zostały oszacowane przez niemieckie przedsiębiorstwo Seeger Engineering AG specjalizujące się w projektach dotyczących odnawialnych źródeł energii. Każdy składnik kosztów inwestycyjnych został pomnożony przez 0.8 w celu obniżenia wycen, ponieważ cennik został przygotowany dla niemieckich warunków ekonomicznych. W Polsce cena każdego elementu kosztów inwestycyjnych będzie niższa. Wycena została przeliczona przy kursie 4 PLN / EUR i została przedstawiona w Tabeli 2.

Tabela 2. Orientacyjne koszty inwestycyjne dla projektowanej elektrociepłowni o mocy 2MW przy wsparciu turbin wiatrowych.

Nr	Rodzaj kosztów	Cena [PLN]
1	Dokumentacja projektowa oraz kalkulacja kosztów	1280000
2	Zamówienie i dostawa materiałów i wyposażenia	416000
3	Instalacja technologii - system spalania	4288000
4	Instalacja technologii - system ORC	3184000
5	Instalacja technologii - kocioł	1904000
6	Instalacja technologii - turbiny wiatrowe i związane wyposażenie	300000
7	Zakup, dostawa i montaż elektrowni na biomasę - słoma - budynek	3684000
8	Zakup, dostawa i montaż elektrowni na biomasę - słoma - rurociągi technologiczne	1904000
9	Zakup, dostawa i montaż elektrowni na biomasę - słoma - instalacje elektryczne, systemy wykrywania	832000
10	Zakup, dostawa i montaż elektrowni na biomasę - słoma - system podawania słomy	291200
11	Zakup, dostawa i montaż elektrowni na biomasę - słoma - inne materiały i wyposażenie	1312000
12	Zarządzanie projektem oraz nadzór inwestycyjny	1244800
13	Podatek VAT (23%) z części bez refundacji	1012042
14	Reklama i promocja	104845
15	Koszty prac planistycznych, zezwoleń, ekspertyz	96000
<b>SUMA</b>		<b>21 852 887</b>

Źródło: Opracowanie własne autora na podstawie wyceny firmy Seeger Engineering AG.

### 2.2.5. PRZYCHODY ZE SPRZEDAŻY Z LOKALNEJ ELEKTROCIĘPŁOWNI

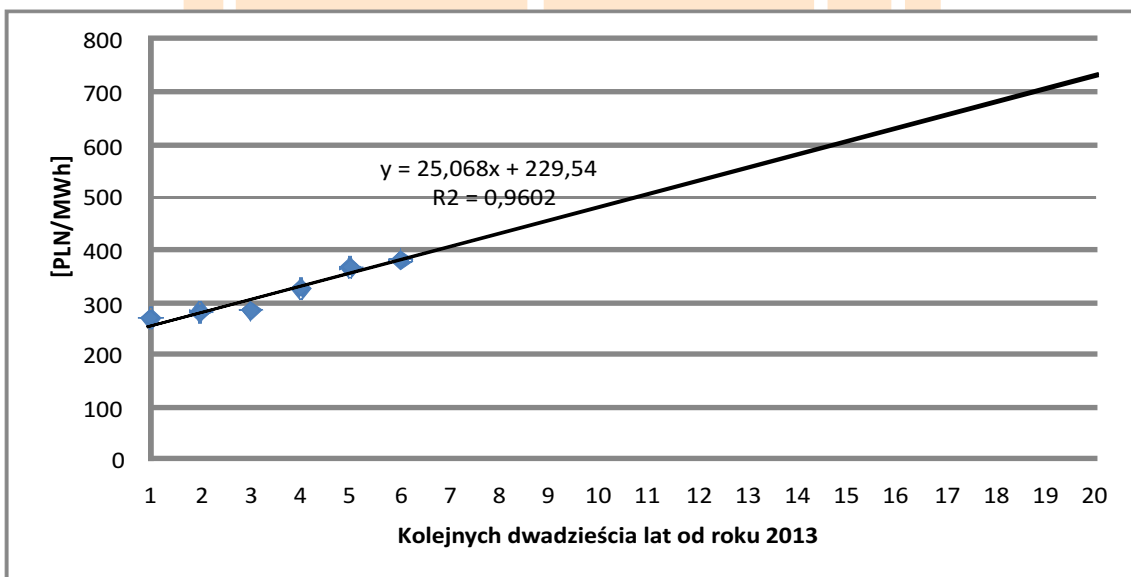
Zakłada się, że okres funkcjonowania elektrociepłowni wyniesie 20 lat. Przychody elektrociepłowni zostały zaprezentowane poniżej:

#### 2.2.5.1. Przychody ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepłej

Cała wytworzona energia, która została założona w punkcie 2.2.3. i tabeli 1 będzie sprzedawana do instytucji publicznych (baseny, domy kultury), przedsiębiorstwa (producenci, wytwórcy grzybów, warzyw oraz kwiatów, suszarnie) oraz gospodarstwa domowe, w formie prądu elektrycznego, gorącej wody z kranów, gorącej wody do centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody technologicznej.

Prognoza cen hurtowych jednego MWh energii elektrycznej w ciągu 20 lat zaczynając od 2013 została zaprezentowana na wykresie 2.

Wykres 2. Prognoza cen hurtowych 1 MWh energii elektrycznej w ciągu 20 lat zaczynając od 2013.



Źródło: Opracowanie własne autora na podstawie M.Kochański, CBI Pro-Akademia, „Prognoza wzrostu cen energii elektrycznej i ciepła dla gospodarstw domowych i przedsiębiorstw na poziomie lokalnym”, 2012.

#### 2.2.5.2. Przychody ze sprzedaży certyfikatów pochodzenia (zielone i czerwone certyfikaty)

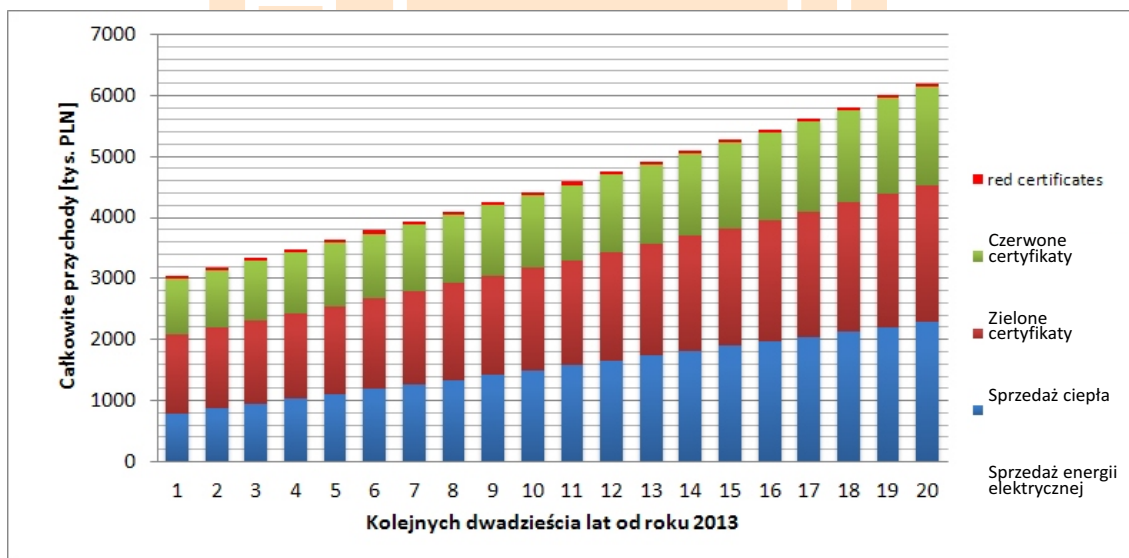
Z powodu niskiej ekonomicznej efektywności systemów kogeneracyjnych wprowadzono certyfikaty pochodzenia jako mechanizm wspierający dla ilościowej produkcji energii odnawialnej. Prawa własności do certyfikatów mogą być sprzedawane, aby poprawić efektywność ekonomiczną odnawialnych źródeł energii.

Przy projektowanej elektrociepłowni zasilanej na biomasę sprzedawane będą zielone certyfikaty, które dotyczą energii elektrycznej wytwarzanej z biomasy, a także czerwone certyfikaty, które dotyczą energii elektrycznej wytwarzanej z połączonego ogrzewania.

Cena zielonych certyfikatów w 2012 roku wynosi około 286 PLN/MWhel i założono, że będzie wzrastać o wskaźnik inflacji (3%) w każdym roku. Cena czerwonych certyfikatów spadła drastycznie w 2012 roku do 7 PLN/MWhel z 23 PLN/MWhel w 2011 roku. Założono, że sprzedaż czerwonych certyfikatów utrzyma się na stałym poziomie i wyniesie 15 PLN / MWhel podczas dwudziestu kolejnych lat.

### 2.2.5.3. Całkowity przychód ze sprzedaży

Struktura całkowitych przychodów ze sprzedaży w ciągu 20 lat funkcjonowania elektrociepłowni zostały zaprezentowane na wykresie 3.



Wykres 3. Prognoza całkowitych przychodów ze sprzedaży wszystkich rodzajów produktów w projektowanej elektrociepłowni w ciągu 20 lat zaczynając od 2013.

Źródło: Opracowanie własne autora.

## 2.2.6. KOSZTY LOKALNEJ ELEKTROCIEPŁOWNI

Koszty operacyjne lokalnej elektrociepłowni zostały wyszczególnione poniżej:

### 2.2.6.1. Koszty słomy i jej dostawy do elektrociepłowni

Koszt słomy i jej dostawy został oszacowany na poziomie 320 PLN/t (przy dostawie do 20 km od elektrowni) z 3% wzrostem każdego roku. Jest to najważniejszy składnik kosztów całkowitych. Elektrociepłownia zasilana na biomasę będzie potrzebować 5000 t/rocznie słomy.

### 2.2.6.2. Koszty eksploatacyjne

W ramach kosztów eksploatacyjnych uwzględniono koszty bieżącego utrzymania, serwisu i planowych napraw oraz wymiany zużytych części. Dodatkowo należy uwzględnić koszty administracyjne oraz ubezpieczenia. Do obliczeń przyjęto następujące koszty:

- bieżących kontroli, utrzymania, planowych napraw i wymiany zużytych części, które wynoszą 1% kosztów inwestycyjnych - średnio 220 000 PLN / na rok;
- administracyjne i ubezpieczenia w wysokości 0.4% kosztów inwestycyjnych - średnio 88 000 PLN / na rok.

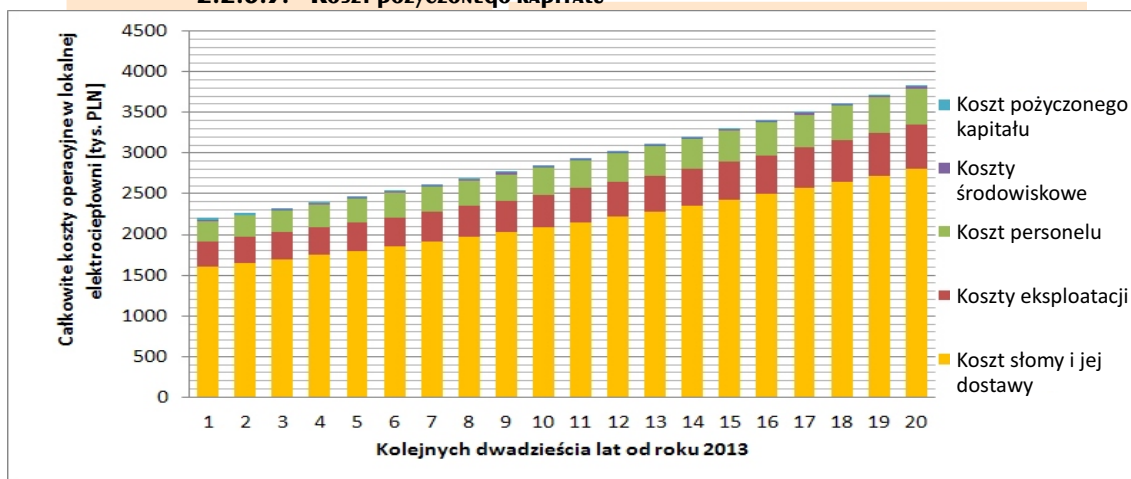
### 2.2.6.3. Koszt pracowników

Nowoczesne systemy kogeneracyjne charakteryzują się niewielką liczbą osób niezbędnych do ich obsługi. Zostało przyjęte, że 5 osób zostanie zatrudnionych do zarządzania, obsługi inżynierskiej oraz administracyjnej. Przyjęto, że wartość wynagrodzenia wyniesie 3600 PLN jako średnia pensja w 2011 roku. Wynagrodzenia będą podwyższane w okresach rocznych o wskaźnik inflacji. W pierwszym roku całkowity koszt zatrudnienia, włączając wszystkie koszty pracodawcy, wyniesie 216 000 PLN \* 1.18 (mnożnik dla pokrycia wszystkich kosztów pracodawcy) = 254 880 PLN.

### 2.2.6.4. Koszty środowiskowe

Koszt uprzątnięcia i usunięcia odpadów oraz ścieków zostanie uwzględniony w tym koszcie. Dla celu obliczenia średniego kosztu środowiskowego w wysokości 12 000 PLN w pierwszym roku, w każdym kolejnym roku uwzględniono wskaźnik inflacji (3%).

### 2.2.6.5. Koszt pożyczonego kapitału



Wykres 4. Prognoza całkowitych kosztów operacyjnych w projektowanej elektrociepłowni w ciągu 20 lat zaczynając od 2013.

Źródło: Opracowanie własne autora.

Kredyt w wysokości 1 008 645 PLN na niski procent (3% w skali roku) zostanie wzięty z prowincjonalnych funduszy. Okres kredytowania będzie wynosił 20 lat. Po pierwszym roku pożyczka zostanie umorzona w 40%. W pierwszym roku odsetki wyniosą 32 000 PLN i ich wysokość będzie się zmniejszać z każdym rokiem, aż do 676 PLN w ostatnim roku (2023). Struktura całkowitych kosztów operacyjnych w ciągu 20 lat funkcjonowania elektrociepłowni są przedstawione na wykresie 4.

Największy wpływ na koszty operacyjne mają koszty słomy i jej dostawy do elektrowni.

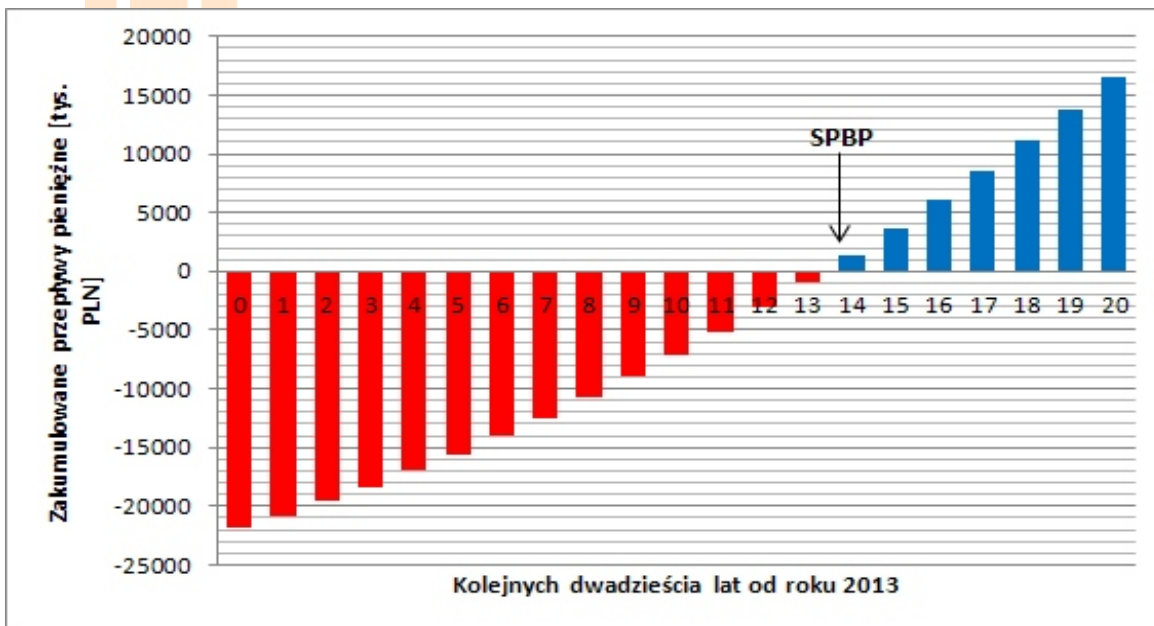
## 2.2.7. OCENA ZYSKOWNOŚCI

### 2.2.7.1. PROSTY OKRES ZWROTU (SPBP).

Aby obliczyć SPBP ze wzoru:

$$I - \sum_{n=0}^{SPBP} CF_n = 0,$$

Przepływy finansowe zostały obliczone i zaprezentowane na wykresie 5 jako zakumulowane przepływy finansowe dla każdego z 20 lat funkcjonowania elektrociepłowni.



Wykres 5. Zakumulowane przepływy finansowe w ciągu 20 lat dla funkcjonującej elektrociepłowni.

Źródło: Opracowanie własne autora.

SPBP wynosi 14 lat, co oznacza, że po tym okresie wszystkie koszty inwestycji zostaną pokryte.

### 2.2.7.2. Wskaźnik zwrotu na inwestycji (ROI)

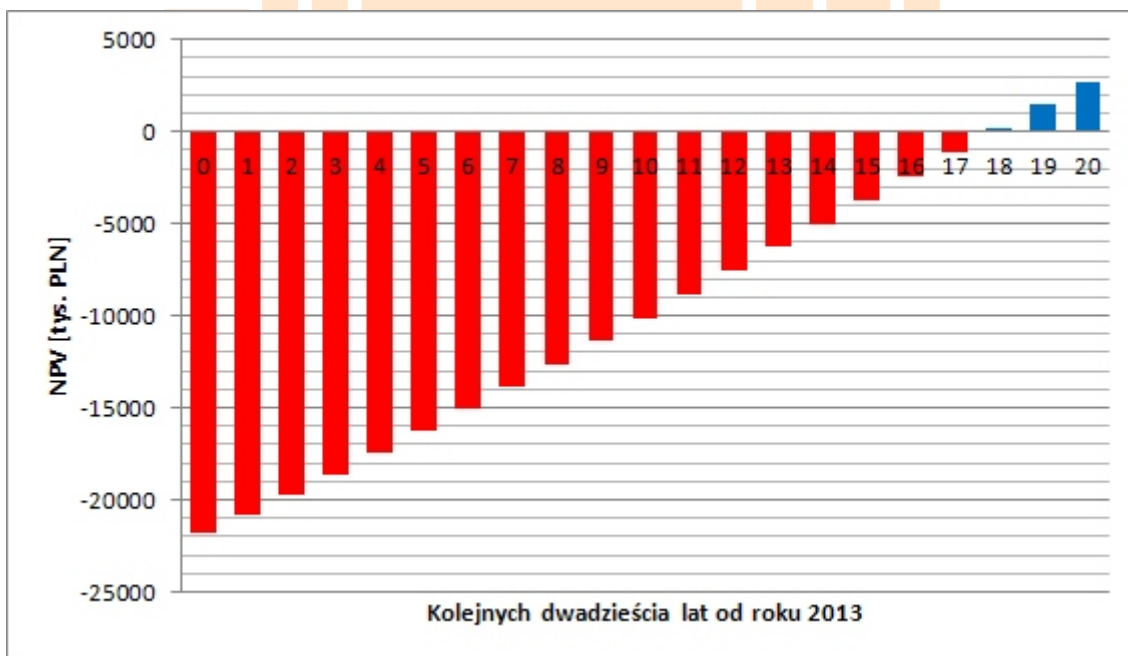
Średni zysk netto w ciągu 20 lat równa się  $F_{sr} = 1\,923\,473$  PLN. Koszty inwestycyjne wynoszą  $21\,852\,887$  PLN. Roczne odsetki średnio w ciągu roku  $Y = 10\,467$  PLN.

$$ROI = \frac{F \cdot Y}{I} = \frac{192347 \cdot 10467}{21852887} = 8,8\%$$

Wartość ROI jest wyższa od oprocentowania depozytów bankowych, więc elektrociepłownia będzie zyskowna.

### 2.2.7.3. WARTOŚĆ BIEŻĄCA NETTO (NPV).

Wartości NPV dla współczynnika dyskontowego równego  $p = 4\%$  są przedstawione na wykresie 6.



Wykres 6. Wartości NPV w ciągu 20 lat funkcjonowania lokalnej elektrociepłowni.

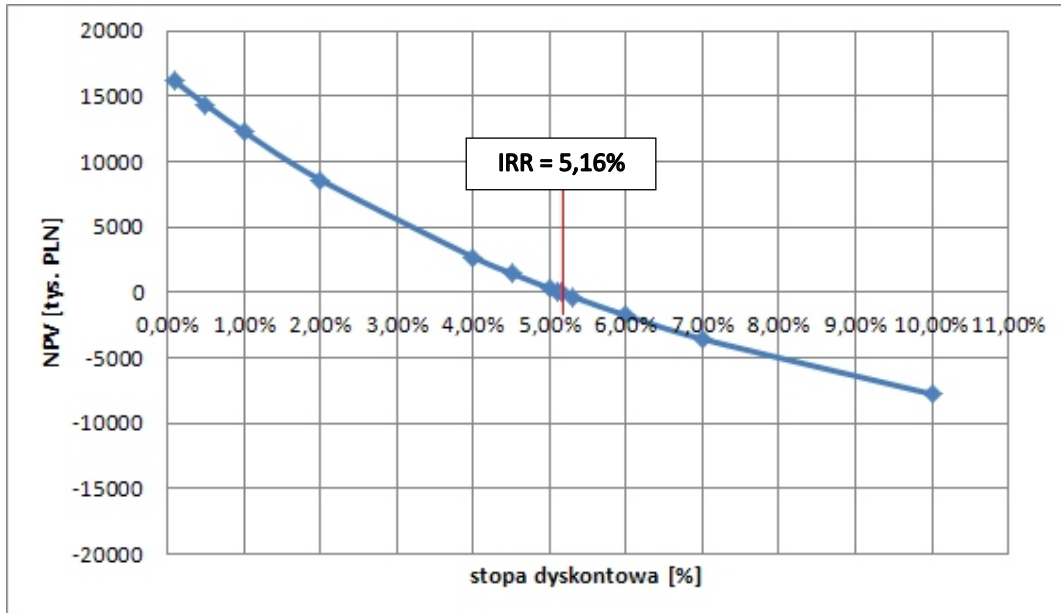
Źródło: Opracowanie własne autora.

Wartość NPV po 20 latach funkcjonowania lokalnej elektrociepłowni równa się około  $2\,750\,000$  PLN przy  $4\%$  wartości współczynnika dyskontowego. Wartość  $4\%$  współczynnika dyskontowego oznacza, że wszystkie wydatki inwestycyjne zostaną pokryte, a inwestor zarobi  $2\,750\,000$  PLN uwzględniając zmianę wartości pieniądza w czasie.



#### 2.2.7.4. WEWNĘTRZNA STOPA ZWROTU (IRR)

Wartość IRR została odczytana z wykresu 7. Aby obliczyć wartość IRR należy określić współczynnik dyskontowy dla NPV=0.



Wykres 7. Zależność NPV od wartości współczynnika dyskontowego.

Źródło: Opracowanie własne autora.

IRR = 5,16% jest zbliżoną wartością dla depozytów bankowych, więc inwestycja będzie całkiem zyskowna.

#### 2.2.7.5. GRANICA OPŁACALNOŚCI (BEP)

Średni koszt jednostkowy wyprodukowania energii wynosi 256,1 PLN/MWh. Średnia cena jednostkowa sprzedawanej energii wynosi 444,0 PLN/MWh.

$$BEP_E = \frac{k_E}{e_E} = \frac{256,1 \frac{PLN}{MWh}}{444,0 \frac{PLN}{MWh}} = 0,58$$

Wartość BEPE jest mniejsza niż 1, więc elektrociepłownia będzie zyskowna. Średni koszt jednostkowy może ulec zwiększeniu nawet do 183,9 PLN/MWh, a elektrownia nadal nie będzie generować strat.

## 2.2.8. PODSUMOWANIE

Wyliczone wskaźniki prezentują, że projektowana hybrydowa elektrociepłownia zasilana na biomasę, pomimo wysokich kosztów inwestycyjnych związanych z nowoczesną technologią ORC, jest zyskowna z punktu widzenia ekonomicznego przy przyjętych założeniach. Główny wpływ na to mają przychody ze sprzedaży certyfikatów. Obniżenie kosztów operacyjnych, w szczególności kosztów słomy oraz jej dostawy powinno poprawić wskaźniki ekonomiczne.

Jeśli hybrydowa elektrociepłownia będzie płacić podatek VAT (powiększający koszty operacyjne), wskaźniki ekonomiczne przyjmą następujące wartości:

- SPBP = 19 lat;
- ROI = 5,5%;
- NPV = - 6 575 750 przy przyjętym 4% współczynniku dyskontowym;
- IRR = 0,79%;
- BEPE = 0,74.

Powyższe wartości wskaźników ekonomicznych sugerują, że koszty inwestycji zostaną pokryte, jednak inwestycja nie będzie zyskowna.